

자동차용 디스크 브레이크의 열간 저더 현상에 대한 연구

Study on Hot Judder Phenomenon of the Automotive Disc Brake

정성필* · 박태원†* · 심경석* · 이진희* · 김옥현*

Sung Pil Jung, Tae Won Park, Kyeong Suk Sim, Jin Hee Lee and Wook Hyun Kim

1. 서 론

본 논문에서는 유한 요소 해석 기술을 바탕으로 디스크 열간 저더 현상을 구현할 수 있는 해석 모델을 개발하는 것을 목표로 한다. 상용 유한요소 프로그램인 SAMCEF를 이용하여 빠르게 회전하는 디스크와 패드사이의 접촉문제를 풀 수 있는 동역학 해석 모델(Mechanical analysis model)과 접촉 에너지를 열에너지로 환산하여 모델에 적용할 수 있는 열 해석 모델(Thermal analysis model)을 생성하고, 두 해석 모델의 결과를 중간 처리기(Intermediate processor)를 이용하여 교환 하였다. 자동 시간 증분 알고리즘(Automatic time step control algorithm)을 이용하여 두 모델의 적분 시간 간격을 조절함으로써 완전 연성되어있는 기계-열 모델의 수치 해를 정확하게 도출 하였다.

2. 열간 저더 해석

2.1 열-기계 연성 시스템 수치 해법

본 연구에서 대상으로 하는 디스크 브레이크 시스템은 대표적인 열-기계 연성 시스템으로, 디스크-패드 마찰에 의한 마찰열 발생을 정확하게 구현하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 SAMCEF/Mechano를 이용하여 구조 동역학 해석 모델, SAMCEF/Thermal을 이용하여 비정상 상태 열전달 해석 모델을 각각 생성하였다. 두 가지 해석 모델의 계산 결과를 SAMCEF/Supervisor를 이용하여 교환하였다. SAMCEF/Supervisor는 두 가지 서로 다른 분야의 문제를 독립적으로 풀고, 매 시간 증분 값에서 데이터

를 교환하는 'Staggered approach' 기반의 중간 처리기이다.

Fig. 1은 SAMCEF/Mechano와 SAMCEF/Thermal의 데이터 교환방식을 보여준다. 기본적으로 열모델에서 계산된 절점의 온도분포가 기계모델로 전달되고, 기계모델에서는 절점의 변위와 소성 변형 및 접촉에 의한 기계에너지가 열모델로 전달된다

2.2 해석 모델 생성

Fig. 2는 디스크, 패드, 피스톤에 대한 유한 요소 모델과 열간 저더 해석을 위한 경계조건을 보여준다. Table 1과 Table 2는 구성요소의 기계 및 열 물성치를 보여준다.

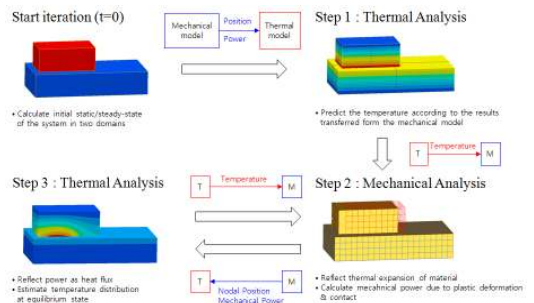


Figure 1 Analysis strategy

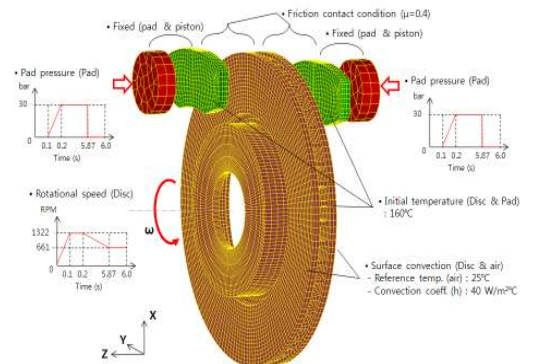


Figure 2 FE model and boundary conditions

† 교신저자; 정희원, 교신저자 소속

E-mail : 교신저자 E-mail

Tel : , Fax :

* 공동저자 1의 소속

** 공동저자 2의 소속

Table 1 Mechanical properties of materials

Component	Elastic modulus (GPa)	Poisson's ratio	Mass density (kg/m ³)
Disc	135	0.29	7200
Pad	3	0.3	2150
Piston	70	0.33	2710

Table 2 Thermal properties of materials

Component	Thermal expansion coefficient (10 ⁻⁵ /°C)	Thermal conductivity (W/m°C)	Mass capacity (J/kg°C)
Disc	1.05	53	642
Pad	0.76	1.5	465
Piston	2.3	177	875

2.3 해석 결과

Fig. 3은 시간에 따른 디스크 표면에서의 온도 분포 및 열섬의 발생 현상을 보여준다.

(a) $t = 0.2 \text{ s}$: 디스크-패드 접촉으로 인해 디스크 표면에 열이 발생하고 있다.

(b) $t = 0.5 \text{ s}$: 디스크 표면에 열이 밴드형태를 띄며 발생하고 있다. 이때 열밴드 중심부의 최대 온도는 약 253°C이다.

(c) $t = 1.5 \text{ s}$: 열집중부의 형상이 뚜렷해지며, 열밴드의 형태가 열집중부를 중심으로 둥글게 뭉쳐지고 있다.

(d) $t = 3.5 \text{ s}$: 디스크 열섬 현상이 완연하게 발전하였고, 최종 열섬의 개수는 약 6개이다. 이때 열섬 중심부 최고온도는 635°C이다.

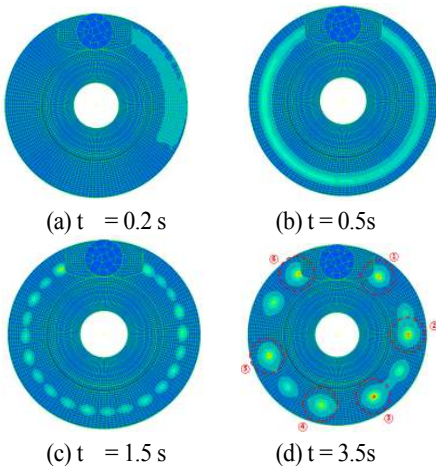


Figure 3 Hot spot generation on the disc surface

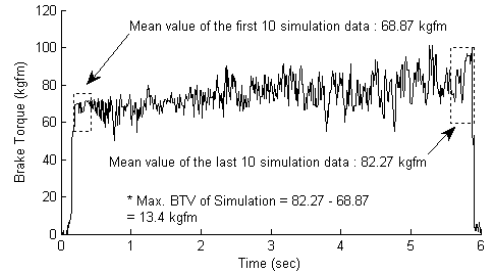


Figure 4 Brake torque variation result

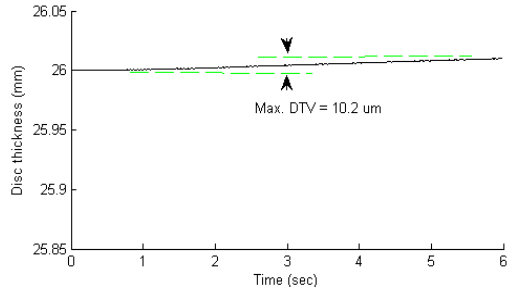


Figure 4 Disc thickness variation result

Fig. 5는 디스크와 패드간의 접촉력에 의해 디스크에 부과되는 회전 토크 반력 결과 (브레이크 토크 결과, BTV)를 보여준다. 제동이 시작되는 영역에서 측정된 해석 결과 데이터 중 처음 10개의 데이터의 평균과 최종 10개 데이터의 평균의 차이를 해석 모델의 최대 BTV로 간주하였다. 측정 결과 해석 모델의 최대 BTV는 13.4 kgfm로 산출되었다. Fig. 6은 마찰열에 의한 디스크 열팽창의 크기를 확인할 수 있는 디스크 두께 변화(DTV) 결과를 보여준다. 디스크 초기 두께는 26 mm이며, 시간이 지남에 따라 DTV의 최대값은 약 10.2um가 된다.

3. 결 론

본 연구에서는 자동차용 디스크 브레이크 시스템의 열간 저더 현상을 분석하기 위한 수치 해석 기법을 제안하였다. 제동이 진행됨에 따라 디스크-패드 접촉면의 중심부에 열이 집중되었고, 열 집중부는 점차 열섬으로 발전하여 최종적으로 디스크 표면에 총 6개의 열섬이 형성되었다. 시간에 따른 디스크 온도 변화, 브레이크 토크 변화, 디스크 두께 변화를 측정하였고 측정값의 크기가 보통의 디스크를 이용한 고속 저더 실험에서 나타나는 실험값의 크기와 비슷한 수준임을 확인하였다.